

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Андреевой Надежды Вячеславовны «Сейсмотектонические аспекты изучения поверхностного и глубинного строения зон разломов (на примере Восточно-Европейской платформы и складчатой системы Большого Кавказа)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика

Диссертация Андреевой Н.В. представляет собой исследование в области геотектоники и современной геодинамики, проведенное с использованием комплексирования геолого-геоморфологических и геофизических методов изучения разломов земной коры. Объектами исследования явились достаточно контрастные по современной тектонической и сейсмической активности районы – сейсмически высоко активная складчатая зона Большого Кавказа, активизированная северо-западная окраина Восточно-Европейской платформы и ее центральная неактивная часть - Московская синеклиза.

*Актуальность работы* определяется высокой значимостью изучения активных разломов как сейсмогенерирующих структур, прямо влияющих на степень сейсмической опасности территорий.

*Цель исследований* - изучение на основе геолого-геоморфологических и геофизических данных, особенностей строения и проявления активных разломов на поверхности и в недрах земной коры в различных геодинамических обстановках. Постановка проблемы, несомненно, правомерна, поскольку появились новые инструменты для прослеживания зон разломов на глубине.

*Метод исследований:* автором применен комплекс геолого-геоморфологических методов в совокупности с методом микросейсмического зондирования (ММЗ).

*Научная новизна* работы заключается в получении данных о строении разломных зон на основе сочетания геолого-геоморфологического и геофизического (микросейсмического зондирования) методов в разных геодинамических обстановках.

*Научная значимость работы* состоит в получении новых данных о закономерностях разломобразования в континентальной земной коре на основе изучения соотношении глубинного и поверхностного структурных планов и соотношения разломов и сейсмичности.

*Личный вклад* автора в подготовку диссертации является определяющим.

На защиту вынесены три *основные научные положения*. Формулировки второго и третье положений возражений не вызывают. Формулировка первого защищаемого

положения выглядит неудачной. Вместо ожидаемого основного вывода по выраженности разломов Большого Кавказа на поверхности и на глубине, их кинематике и пр. свойствам, положение содержит достаточно пространное описание глубинного строения по данным ММЗ. При этом не очень понятно, что имеется в виду под «максимальными складчато-разрывными деформациями осадочного чехла» - высокоамплитудные разломы или большая плотность разломов и напряженность складчатости.

#### *Структура и объем диссертации*

Диссертация состоит из пяти глав, введения, заключения. Общий объем работы составляет 159 страниц печатного текста, в том числе 51 рисунок, 2 таблицы, а также список использованной литературы из 231 наименования.

Имеется замечание к названию работы. Понятие «аспекты» (сейсотектонические аспекты) не является полным эквивалентом обычно используемых в научных работах сейсотектонического направления понятий «процесс», «структура», «особенность» и др., а допускает гораздо более широкое толкование, и, тем самым, не способствует концентрации исследования на конкретных одинаковых методах (кроме ММЗ), используя их в разных регионах. Такое название скорее подходит для очерка по широкой теме. Отсюда, думается, происходит и некоторая рыхлость работы, а также отсутствие обобщения.

Замечания по структуре работы: Работа недостаточно четко структурирована. В частности, методы исследований рассматриваются как в первой, так и во второй главах. Вторая глава содержит три раздела, вместо логически обусловленных двух – с описанием двух различных методов исследований.

Главы 3, 4 и 5, содержащие описание результатов исследований разломов в разных регионах, имеют существенно разную структуру. Даже в заглавиях этих частей диссертации фигурируют то тектонические структуры (Кавказский и Таманский сегменты Альпийско-Гималайского подвижного пояса, Польско-Литовская синеклиза), то географическое название (Московский регион).

В работе отсутствует завершающая глава, которая бы содержала обсуждение, анализ и обобщение результатов. Она необходима при проведении исследования тектонических структур одного типа в областях с различной тектонической активностью.

*Раздел «Введение»* представляет собой краткое изложение диссертационной работы с описанием актуальности и объектов исследования, целей работы и научных задач исследования, личного вклада соискателя, научной новизны и значимости работы, основных положений диссертации, выносимых на защиту, структуры работы и ее апробацию.

*Глава 1* «Представления о разломах земной коры. Методы исследований» отражает общий взгляд автора на разломы земной коры, содержит обзор литературы по теме и, в меньшей степени, обзор методов исследований разломной тектоники. Большое место в главе уделено обзору представлений о зонах динамического влияния разломов, состоянии и структуре этих зон на глубине, понятию «активный разлом» и обсуждению соотношения разломов и сейсмичности. К большому сожалению оппонента, не были рассмотрены подходы и результаты работ иркутской тектонофизической школы по изучению соотношения параметров разломов на поверхности с глубиной их проникновения по комплексу геолого-геофизических и экспериментальных данных, которые могли быть полезны при формулировании задач настоящего исследования.

Есть некоторые замечания к главе, которые, впрочем, носят дискуссионный характер. Вызывает уважение стремление автора как можно шире охватить проблему разломообразования, однако часть из изложенных вопросов, такие, как выделение морфолого-генетических типов разломов, их кинематики давно является общим местом в геотектонике и не требует особого рассмотрения. Большое внимание уделено историческому аспекту изучения глубинных разломов. Однако дискуссионна сама трактовка термина «глубинный разлом», поскольку современные представления о формировании континентальных массивов, о террейновой тектонике и сутурных швах заставляют по-новому взглянуть на процессы формирования и активизации таких дизъюнктивных структур.

Кроме достаточно большого количества русскоязычных работ по разломам, в главе приводятся примеры научных разработок по разломной тектонике из обзоров зарубежных авторов. Досадно только, что в отдельных случаях приведенное изложение содержания переводных текстов с английского оставляет желать лучшего – не очень понятно, что имеется в виду (например, на стр. 25 - «Зоны с малым погружением сдвига будет сложнее обнаружить, чем с круто погружающимися...»; на стр. 26 – «Предпочтительными целями для таких исследований являются границы активных трансформирующих пластин.» и т.п.).

В *главе 2* «Анализ и выбор тектонических и геофизических методов для исследования разломов» приводятся аргументы в пользу применения геолого-геоморфологических методов и метода микросейсмического зондирования для изучения проявления активных разломов на земной поверхности и прослеживания их на глубину.

Использованный комплекс геолого-геоморфологических методов включает дешифрирование материалов дистанционных исследований, морфометрические методы, исследования особенностей речной сети, палеосейсмогеологические методы исследований сейсмоактивных разломов.

Для исследования зон разломов на глубине применен метод микросейсмического зондирования (ММЗ) – это метод пассивной сейсморазведки, разработанный А.В. Горбатиковым. По мнению автора, это наиболее приемлемый, удобный и функциональный метод исследования зон разломов на разных глубинах. В главе приводятся методические основы используемой технологии. Важно отметить, что автор отмечает естественные ограничения ММЗ по определению глубины объектов, полагая при этом, что для геологической интерпретации эти ошибки решающего значения не имеют. Для подтверждения последнего приводятся многочисленные примеры результатов использования ММЗ при изучении объектов, хорошо изученных по данным бурения. К сожалению, все приведенные примеры касаются разрезов, не выходящих за сотни и первые тысячи метров. Как верифицировались данные ММЗ на глубинах 20-40 и более километров, где теоретически реологическое состояние зоны разлома может, меняться в работе не сказано. При этом, как показано далее в работе, протяженные аномальные зоны (разуплотнения) протягиваются до низов коры без изменения ширины.

Основные результаты проведенных исследований зон активных разломов Большого Кавказа изложены в *главе 3*. Эта глава по объему и количеству изученных объектов является доминирующей. На ее основе проведена типизация активных разломов по данным нескольких профилей ММЗ, пройденных в крест складчатой зоны, исследовано соотношение положения главных разломов и очагов землетрясений. Большое внимание автором уделяется обнаруженным по результатам ММЗ крупным областям пониженных скоростей сейсмических волн в земной коре, интерпретируемых, как участки разуплотнения ее вещества не разломной природы.

Замечание к главе 3:

Вывод о том, что «Очаги землетрясений приурочены к зонам разломов и на профилях ММЗ расположены в областях контактов двух разнопрочных объемов, с максимально высокими и максимально низкими скоростями» (стр. 86) может быть отнесен только к двум сильным землетрясениям – Рачинскому и Туапсинскому. Слабая сейсмичность, судя по разрезу (рис. 3.8), наоборот больше тяготеет к высокоскоростной неоднородности, хотя и распределена также по всей верхней части разреза, независимо от положения зон выделенных разломов. Более того, приуроченность Рачинского землетрясения в зоне контакта контрастных по скоростям блоков также не очевидна.

Вызывает некоторые вопросы отсутствие пологих и наклонных зон пониженных скоростей (разуплотненных зон) в средних и нижних горизонтах земной коры при широком их развитии в приповерхностной ее части.

*Глава 4* посвящена описанию результатов геолого-геофизического изучения строения и сейсмической активности Польско-Литовской синеклизы, находящейся на окраине Восточно-Европейской платформы. Исследование проведено для условий низкой тектонической активности территории и наличия мощного слабдеформированного осадочного чехла. Установленные здесь разломы с признаками позднекайнозойской активизации, прослеживаются на глубину в виде вертикальных зон разуплотнения шириной 2-3 км, установленных по данным ММЗ. По мнению автора, к одной из таких зон приурочен очаг Калининградских землетрясений 2004 г., который выражен в виде локальной аномалии на глубине около 10 км.

Имеется одно замечание к главе 4, которое носит дискуссионный характер. На взгляд рецензента, вывод о приуроченности очагов Калининградских землетрясений к локальной аномалии на глубине 10 км недостаточно обоснован. Главным препятствием для такого вывода является отсутствие каких-либо дополнительных косвенных данных, кроме существования разлома на поверхности и локальной аномалии на глубине. Картина разброса имеющихся решений для эпицентров землетрясений, как, собственно, и распределение интенсивности сотрясений, не позволяет решить этот вопрос.

*Глава 5* посвящена результатам проведенных исследований асейсмичных разломов Московского региона комплексом сеймотектонических и геофизических методов. В главе, в частности, приводятся материалы изучения оползня на склоне Воробьевых гор, который, судя по всему, активизировался под воздействием Охотоморского землетрясения 2013 г. ( $M_s=8.2$ ). Анализируется глубинное строение юго-западной части Москвы по профилю ММЗ, пройденному в крест простирания выделенных ранее широтных зон активных разломов. Показано, что зоны разуплотнения, ассоциируемые с активными разломами, субвертикальны и имеют ширину до 7-8 км.

Особый интерес здесь вызывает проведённый подсчет площади, которую на территории города занимают разломные зоны и блоки в сопоставлении с количеством пунктов осязаемости Охотоморского землетрясения, отмечающихся в пределах этих структур. Была показана приуроченность зон повышенного макросейсмического эффекта к зонам глубинных разломов. Возникает вопрос, не повлиял ли на результат набор методов, которые были положены в основу выделения зон активных разломов на территории Москвы. В отличие от тектонически активных территорий, где основными были морфотектонические критерии и выделенные зоны достаточно узкие, здесь для выделения разломов широко использовались данные эманаций газов, что вело к заведомому увеличению оценки ширины зоны.

Многочисленные *рисунки* и графические материалы, представленные в работе, за малым исключением, хорошо читаемы и информативны. В качестве замечания можно указать наличие опечаток в поле рисунков 1 и 3.4. Также в подписи под рисунком 3.4 существует неточность – вместо положения позднеплиоцен-эоплейстоценового уровня, там фигурирует «смещение позднеплиоцен-эоплейстоценового уровня». На рисунке 3.11 отсутствуют условные обозначения к приведенному для сопоставления с разрезом ММЗ геолого-геофизическому разрезу А.Г. Шемпелева [2004].

Раздел «*Заключение*» диссертационной работы служит, в какой-то мере, заменой необходимой, но отсутствующей главы по анализу и обобщению полученных результатов. Последним обстоятельством определяется и одно из основных замечаний – отсутствие сравнительного анализа выраженности разломов в районах с высокой и умеренно проявленной сейсмической активностью и в асейсмичных районах. В частности, в выводе по платформенным разломам просто указывается, что активные разломы на разрезах ММЗ выражены также, как и в других регионах. Таким образом оказалось, что сейсмогенерирующие разломы подвижных зон (Большой Кавказ) по своим свойствам отличаются от пассивных, частично залеченных, малоподвижных разломов древних платформ. Однако, если проанализировать материалы ММЗ, то можно заметить, что ширина зон разломов, выраженных линейными понижениями скоростей сейсмических волн на платформе существенно больше (до 5-7 км), чем для складчатой зоны Большого Кавказа. Кроме того, с тем же отсутствием аналитической главы можно связать и еще один недостаток диссертации – отсутствие анализа и объяснения того, что на уровне фундамента исследованные зоны активных разломов имеют большую ширину, чем у поверхности. Как правило, над широкими зонами разуплотнения в фундаменте на поверхности Земли фиксируются единичные сместители или узкие зоны. Исключение составляет, пожалуй, только Пшехско-Адлерский разлом (см. рис. 3.10). В классических примерах формирования зон динамического влияния разломов, основанных на моделировании [Шерман, 2000, 2004, 2014], на которые ссылается автор, ширина зоны разлома увеличивается от подложки модели к поверхности и пропорциональна мощности деформируемого слоя. Тот же эффект можно наблюдать на материалах детальной сейсморазведки для сдвиговых зон в чехле Западно-Сибирской плиты [Гогоненков, Тимурзиев, 2010 и мн.др.].

*Рекомендации по практическому использованию материалов диссертации.*

Материалы диссертации будут полезны для специалистов в области современной геодинамики, неотектоники и сеймотектоники. Результаты работ могут быть включены в лекционные курсы ВУЗов по геотектонике и геодинамике. Они рекомендуются для

использования в научных институтах РАН и в проектных организациях при проведении работ по оценке сейсмической опасности.

Автором проведена большая работа по изучению зон разломов в различных по тектонической и сейсмической активности регионах. Проанализированы многочисленные разрезы, пройденные в крест простирания активных разломов с использованием ММЗ. К достоинствам работы относится комплексирование методов, позволяющее проследить разломы от поверхности на большие глубины вплоть до основания коры. Сильной ее стороной является высокая практическая значимость результатов для разработки критериев оценки сейсмической опасности зон разломов.

#### *Заключение*

Диссертационная работа Н.В. Андреевой «Сейсмотектонические аспекты изучения поверхностного и глубинного строения зон разломов (на примере Восточно-Европейской платформы и складчатой системы Большого Кавказа)» представляет собой законченное научное исследование, выполненное на актуальную тему, обладает научной новизной и содержит решение задач по изучению выраженности сейсмоактивных и сейсмически пассивных разломов на земной поверхности и в глубине земной коры, имеющих важное значение для познания закономерностей континентального разломообразования и оценки сейсмической опасности зон разломов. Новизна выводов и практическая значимость не вызывают сомнений. Тема диссертации соответствует специальности 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика. Работа написана грамотным научным языком. Автореферат отражает содержание диссертации.

Работа прошла научную апробацию. Ее основные результаты отражены в 17 публикациях, в том числе в 11 статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК. Результаты исследований были представлены автором на многочисленных научных совещаниях разного уровня.

Приведенные в отзыве замечания не снижают ценности диссертационной работы и могут быть учтены автором в его будущих исследованиях, тем более, что часть замечаний носит дискуссионный характер.

На основании изложенного выше, считаю, что рассматриваемая диссертация «Сейсмотектонические аспекты изучения поверхностного и глубинного строения зон разломов (на примере Восточно-Европейской платформы и складчатой системы Большого Кавказа)» соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для соискателей ученой степени кандидата наук, а ее автор Андреева Надежда Вячеславовна достойна присуждения искомой ученой степени

